

# **Ilmajohtoverkon saneeraus maakaapeliverkoksi**

Tatu Pilkkakangas

Opinnäytetyö  
Syyskuu 2017  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri(AMK), automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Pilkkakangas, Tatu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Syyskuu 2017
	Sivumäärä 81	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: Kyllä
Työn nimi <b>Ilmajohtoverkon saneeraus maakaapeliverkoksi</b>		
Tutkinto-ohjelma Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Pasi Puttonen, Sirpa Hukari		
Toimeksiantaja(t) Elektron E Oy		
Tiivistelmä <p>Uudistuneen sähkömarkkinalain myötä aloitettiin Suomen sähköverkon saneeraaminen toimitusvarmempaan suuntaan. Vuoteen 2023 mennessä 75 % asemakaava-alueilla olevista kiinteistöistä ei saa kärsiä yli 6 tunnin sähkökatkoista ja haja-asutusalueilla yli 36 tunnin sähkökatkoista, pois lukien vapaa-ajanasunnot. Tämä lakiuudistus asetti uusia tavoitteita verkkoyhtiöille, minkä seurauksena maakaapeliverkon rakentaminen on kiihtynyt.</p> <p>Opinnäytetyön teoreettisen osuuden tavoitteena oli perehtyä sähköjakeluverkon rakenteisiin suunnittelijan näkökulmasta. Opinnäytetyön toiminnallisena tavoitteena oli suunnitella Elektron E Oy:n toimeksiannosta perehdytysopas, jota voidaan käyttää työvälineenä uusien suunnittelijoiden perehdyttämisessä.</p> <p>Työssä perehdyttiin yleisesti sähköjakeluverkkoihin sekä tarkemmin niiden määräyksiin. Materiaalina käytettiin erilaisia standardeja, kirjallisuutta ja lakeja. Uudistuneen sähkömarkkinalain myötä löytyy paljon kirjallisuutta sähköjakeluverkkojen vaatimuksista tänä päivänä. Perehdytysoppaan rakenne muotoutui oikean työkohteen ohella ja siihen kirjattiin hiljaista tietoa suunnittelutyöstä. Näin ollen siitä tuli koko projektin kattava kokonaisuus. Perehdytysopas sisältää työkohteen eri vaiheet, jotka on otettava huomioon suunnittelutyön edetessä.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin hyvä kokonaisuus toimeksiantajalle, mitä se voi hyödyntää tulevaisuudessa. Perehdytysopas on yleispätevä ja sitä voidaan käyttää monessa eri työkohteessa.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) sähköjakeluverkko, perehdyttäminen, sähköjakelu, sähköverkot		
Muut tiedot Liitteet 1 ja 2 ovat salassa pidettäviä, jotka on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 17, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika 15 vuotta, salassapito päättyy 18.5.2032.		

Author(s) Pilkkakangas, Tatu	Type of publication Bachelor's thesis	Date September 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 81	Permission for web publication: Yes
Title of publication <b>Electrical grid renovation</b> Aerial line renovation to underground cable		
Degree programme Degree programme in Automation Engineering		
Supervisor(s) Pasi Puttonen, Sirpa Hukari		
Assigned by Elektron E Oy		
Abstract  <p>In 2013 the law of the electrical market was modernized and it placed new commandments to the electricity distributors. By 2023 75% of the premises in city plan area must not have over six-hour power cuts and in area of dispersed settlement 36 hours power cuts, excluding summerhouses. This law set new aims for the electrical distributors and the underground cable renovation escalated.</p> <p>The thesis was assigned by Elektron E Oy. The purpose of the productional part of the thesis was to create a guide book to new electrical grid designers. Guidebook was executed in collaboration with another electrical designer. Basis of the thesis was to write and document the silent information on designing electrical grids. The guide book will be in function when mentoring new designers. The thesis` theoretical purpose was to create good description of electrical grids in electrical designer`s point of view.</p> <p>The thesis studies electrical grids in Finland and mostly on the specifications when renovating electrical grids. The thesis` references were mostly the law of the electrical market, standards, directives and literature of them. As the law on electrical marketing was modernized in 2013, the database on demands of the electrical grids were easily found. The guide book was created alongside with a renovation project in Finland and therefore it includes every part of the renovation project.</p> <p>Result of the thesis was good database for the assigner and it can take advantage of the thesis in future. The guide book is universal so it can be used in many projects.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) electrical grids, guidebook, distribution, orientation		
Miscellaneous <b>Appendixes 1 and 2 are confidential which have been removed from the public thesis. Grounds for secrecy: Act on the Openness of Government Activities 621/1999, Section 24, 17: business or professional secret. Period of secrecy is fifteen (15) years and it ends 18.5.2032.</b>		

## Sisältö

<b>Käsitteet ja lyhenteet.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Johdanto .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Sähkönjakeluverkko Suomessa .....</b>	<b>6</b>
<b>3 Sähkön toimitusvarmuuden parantaminen .....</b>	<b>8</b>
3.1 Oikosulku .....	9
3.2 Maasulku .....	9
3.3 Vuoden 2013 sähkömarkkinalaki .....	10
3.4 Ilmajohtoverkko .....	10
3.5 Pylväsmuuntamot.....	11
3.6 Maakaapeliverkko .....	13
3.7 Puistomuuntamot .....	15
<b>4 Sähköinen suunnittelu .....</b>	<b>16</b>
4.1 Trimble Nis -suunnitteluohjelma.....	16
4.2 Sähkön laatu .....	17
4.3 Jännitteen alenema .....	19
4.4 Oikosulkuvirta ja vikavirrat.....	19
4.5 Ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus sekä selektiivisyys .....	20
4.6 Muuntajien ja kaapelien valinta.....	21
4.7 Maadoitusten mitoitus.....	21
4.8 Sähköturvallisuus.....	24
<b>5 Suunnittelun vaiheet .....</b>	<b>24</b>
5.1 Lähtökohdat .....	25
5.2 Maastosuunnittelu .....	25
5.2.1 Muuntamoiden sijoituspaikat .....	25

	2
5.2.2	Jako- ja haaroituskaappien sijoituspaikat.....26
5.3	Sopimukset ja lupa-asiat .....27
5.3.1	Kunnat.....27
5.3.2	Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus.....27
5.3.3	Aluehallintavirasto.....28
5.3.4	Maanomistajat.....29
5.3.5	Muut tahot.....29
5.4	Maatyöt .....29
5.5	Käyttöönotto .....29
5.6	Dokumentointi .....32
<b>6</b>	<b>Perehdytysopas.....33</b>
<b>7</b>	<b>Pohdinta.....34</b>
<b>Lähteet</b>	<b>.....37</b>
<b>Liitteet</b>	<b>.....40</b>
Liite 1.	Perehdytysopas .....40
Liite 2.	Työkohteen keskijännitekartat.....41

## Kuviot

Kuvio 1. Fingrid Oyj voimansiirtoverkko .....	7
Kuvio 2. Elenia Oy, toimialuekartta .....	8
Kuvio 3. Pylväsmuuntamo .....	12
Kuvio 4. Pylväsmuuntajaerotin .....	12
Kuvio 5. Maakaapelointia, Wiski Plain .....	13
Kuvio 6. Kaapeliojan periaatteellinen poikkileikkaus.....	14
Kuvio 7. Puistomuuntamo ABB Luna 2c.....	15
Kuvio 8. Puistomuuntamo, ABB Mercury 10C 630E3, kytkentä .....	15
Kuvio 9. Jännitteen alenema .....	19
Kuvio 10. Täydellinen selektiivisyys .....	21
Kuvio 11. Maadoitusjärjestelmän suunnittelu.....	22
Kuvio 12. Muuntaja ylhäältä, maadoitusjärjestelmä .....	23
Kuvio 13. Potentiaalijakauma pylvään läheisyydessä (Alkup. kuvio Elovaara & Haarla, 2011, 429).....	23
Kuvio 14. Kaapelijakokaappi Emitter OKKJK-P 250A BC+2x160 .....	26
Kuvio 15. Eristysvastusmittauksesta kiinteistön käyttöönottotarkastuksessa .....	30
Kuvio 16. Trimble Geo 7x- GPS laite.....	33

## Taulukot

Taulukko 1. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot .....	31
--	----

## Käsitteet ja lyhenteet

0,4 kV	0,4 kilovoltia, pienjännite
20 kV	20 kilovoltia, keskijännite
$\underline{U}_1$	Jännite johdon alkupäässä
$\underline{U}_2$	Jännite johdon loppupäässä
$U_H$	Jännitteen alenema
$U_{tp}$	Kosketusjännite
$U_n$	Nimellisjännite
PELV	Protective extra low voltage
$X$	Reaktanssi
$R$	Resistanssi
SELV	Safety extra low voltage
$I$	Virta

# 1 Johdanto

Sähkömarkkinalain uudistuttua vuonna 2013 käynnistyi Suomessa laajamittainen sähköverkkojen päivitys. Tämän päivityksen tarkoituksena on parantaa sähkön toimitusvarmuutta kuluttajalle. Lain uudistumisen myötä uusien sähköverkkosuunnittelijoiden tarve lisääntyi kiihtyneen sähköverkkojen saneeraamisen takia.

Opinnäytetyön tehtävänä oli toteuttaa perehdytysopas sähköverkkoja saneeraavan yrityksen käyttöön. Perehdytysoppaan tavoitteena oli koostaa selkeä opas suunnittelutyön tueksi, jota voidaan hyödyntää tulevissa työkohteissa. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Elektron E Oy, joka on valtakunnallisesti toimiva sähkön- ja voimanjakeluhankeiden osaaja. Opinnäytetyön teoreettinen osio perehtyy sähkönjakeluverkon rakenteisiin. Toiminnallisena osuutena suunniteltiin perehdytysopas ilmajohtoverkon saneeraamisesta maakaapeliverkoksi. Maakaapeliverkkosuunnittelua varten ei ole vielä tuotettu materiaalia, joka toimisi oppaana työkohteen suunnittelussa. Tällaiselle oppaalle on siis tarvetta ja kysyntää. Perehdytysopas on salassa pidettävää materiaalia ja se jää käytettäväksi toimeksiantajalle.

Opinnäytetyö toteutettiin Elektron E Oy:n työprojektin Orivesi, Aakkola-Päilahti yhteydessä. Työprojekti on osa Elenia Säävarma - verkkohanketta. Työkohteen ilmajohtoverkko saneerattiin maakaapeliverkoksi 27 kilometrin alueelta. Perehdytysopas toimii työvälineenä uusien suunnittelijoiden perehdytyksessä ja antaa hyvän kokonaiskuvan työn etenemisestä käytännössä.

Opinnäytetyössä tutkittavan ilmiön perustana olleen työkohteen avulla pystyttiin rajaamaan jo opinnäytetyön alkuvaiheessa työn laajuus sekä tutkimusmenetelmä, jotka helpottivat tietoperustan kerryttämistä ja kirjoitusprosessia. Opinnäytetyön laajuus määräytyi todellisessa työkohteessa tehdyn suunnittelutyön mukaisesti. Todellisessa työkohteessa kiinnitettiin erityistä huomiota sähköverkon eri rakenteisiin ja näin ollen niistä oli luonteva koota opinnäytetyön teoriaosuus. Teoriaosuuden lisäksi pystyttiin koostaa tehdystä suunnittelutyöstä perehdytysopas toimeksiantajan käyttöön.



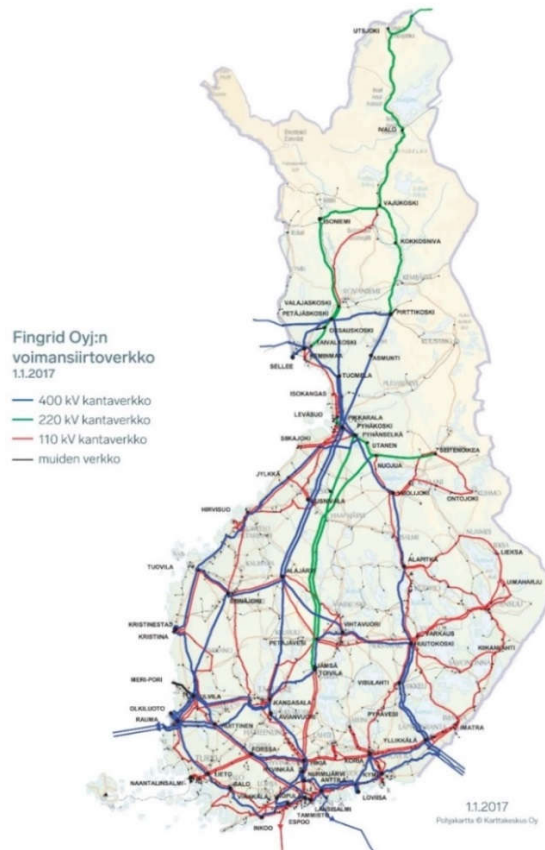
Opinnäytetyössä käytettiin kvalitatiivista tutkimusmenetelmää, joka on laadullinen tutkimusmenetelmä. Laadullisessa tutkimusmenetelmässä keskitytään aineiston laatuun, ei määrään.

### **Elektron E Oy**

Elektron E Oy on vuonna 2010 perustettu sähköverkkojen rakentamiseen ja saneeraamiseen keskittyvä yritys. Yrityksen ydinosaaminen on jakeluverkkojen ja teollisuuden voimanjakelun suunnittelu- ja asennustöissä. Elektron E Oy toimii sekä pääura-koitsija, että aliurakoitsijana. Projektit voivat olla täysin kokonaisvastuurakentamiseen (KVR) perustuvia tai osaurakoita. Yrityksen asiakkaisiksi lukeutuu mm. sähköverkonhaltijoita. Yritys työllistää noin kymmenen henkilöä, joilla on vankka työkokemus sähkönjakeluverkkoon liittyvistä työtehtävistä. Yritys ei ole paikkakuntasidonnainen, näin ollen yrityksellä on valmiudet tehdä suunnittelu- sekä asennustöitä koko Suomen alueella. (Elektron E Oy – sähkön jakeluverkot ja teollisuuden voimanjakelu, n.d.)

## **2 Sähkönjakeluverkko Suomessa**

Suomen sähköverkko kattaa tänä päivänä miltei sataprosenttisesti kaikki taloudet ja sähköverkkoa kehitetään jatkuvasti sen toimintavarmuuden vakauttamiseksi. Vielä tällä hetkellä suurin osa Suomen jakeluverkosta on ilmajohtoverkkoa, jonka saneeraaminen on aloitettu sähkön toimitusvarmuuden lisäämiseksi. Suomen sähkönjakeluverkon perustana on voimansiirtoverkko, jota kutsutaan nimellä kantaverkko. Kantaverkon omistaa Fingrid Oyj (ks. kuvio 1).



Kuvio 1. Fingrid Oyj voimansiirtoverkko

Voimansiirtoverkko koostuu 400 kV:n, 220 kV:n ja 110 kV:n jännitetaso verkoista. Voimansiirtoverkon alla toimiva jakeluverkko on jakaantunut pääosin kolmelle jakeluverkkoyhtiölle: Elenia Oy:lle, Caruna Oy:lle ja Helen Sähköverkot Oy:lle. (Sähköverkkoyhtiöt, n.d.).

Sähkönjakeluverkkojen haltijoita on Suomessa 77kpl sekä suurjännitteisien jakeluverkkojen haltijoita 11 kpl (Sähkönjakeluverkon haltijat, 2017). Jakeluverkoissa käytetään pääasiassa 20 kV:n ja 45 kV:n jännitteitä. Suomessa on käytössä myös pienissä määrin 1 kV:n jännitteitä sähkönjakelussa.

Elenia Oy:n sähkönjakeluverkko on laaja ja se palvelee noin 420 000 asiakasta, Kanta- ja Päijät-Hämeessä, Pirkanmaalla, Keski-Suomessa sekä Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla. (Sähköverkko, n.d.)

Kuviossa 2 on merkitty Elenia Lämpö Oy:n jakelualueet pistein.



Kuvio 2. Elenia Oy, toimialuekartta

### 3 Sähkön toimitusvarmuuden parantaminen

Sääolosuhteiden vuoksi ilmajohtoverkot ovat hyvin alttiita vikaantumisille, erityisesti metsäosuuksilla. Yleensä vikaantumisen syy on ilmajohton päälle kaatunut tai taipunut puu. Yhden 20 kV:n keskijännitelinjan sähkönjakeluhäiriö saattaa aiheuttaa monille sähkökatkoja kymmenille kiinteistöille.

Rinnakkaisvioiksi luokiteltavat oiko- ja maasulkutilanteet johtuvat esimerkiksi salamiskuista, pylvään katkeamisesta, virtamuuntajan vikaantumisesta, erottimen murtumisesta tai johtimen katkeamisesta tai putoamisesta maahan. Johtimen katkeaminen voi johtua esimerkiksi lumen tai jään kuormasta. (Elovaara & Haarla 2011, 340.)

### 3.1 Oikosulku

Valokaaren kautta tai suoraan syntyvä oikosulku tapahtuu, kun virtapiirin johtimet joutuvat johtavaan yhteyteen. Oikosulun sattuessa on ominaista, että virta on suuri ja jännite on pieni. Oikosulku voi tapahtua 2- tai 3-vaiheisena. Ilmajohtoverkossa 2-vaiheinen oikosulku voi tapahtua esimerkiksi kovan tuulen takia. Kovassa tuulessa johtimet saattavat koskettaa toisiaan, jolloin syntyy puhdas 2-vaiheinen oikosulku. (Elovaara & Haarla 2011, 340.)

Oikosulut voidaan jakaa symmetrisiin ja epäsymmetrisiin vikatapauksiin. Symmetrinen vikatapaus tarkoittaa, että kaikkiin johtimien vaiheisiin kohdistuvat vian vaikutukset vikatilanteessa. Symmetrisen oikosulun voi aiheuttaa mm. muuntajan tai johdon kolmivaiheinen oikosulku. Oikosulku aiheuttaa huomattavia vaikutuksia sähköverkon jännitetasoon sekä tehonjakoon. Symmetrisiä oikosulkuja voidaan analysoida yksivaiheisella sijaiskytkennällä tai tehonjako-ohjelmistolla. (Elovaara & Haarla 2011, 166.)

### 3.2 Maasulku

Epäsymmetrinen vika näkyy eri vaiheiden kohdalla eri lailla. Poikittaisvikoja, jotka ovat epäsymmetrisiä, voivat olla 1- tai 2-vaiheiset maasulut. Nämä vikatilat voivat aiheutua esimerkiksi salamaniskuista johtoihin. Verkon vikaantuessa kahdesta kohtaa ja vikojen ollessa mahdollisesti eri puolilla verkkoa kutsutaan vikatilaa epäsymmetriseksi yhdistelmäviaksi. Yhdistelmävika voi olla esimerkiksi kaksoismaasulku ja johdinkatkos, joka putoaa maahan. Yhdistelmäviat voivat olla haastavia käsitellä ja laskea niiden yhdistelmävikojen laajuuden vuoksi. (Elovaara & Haarla 2011, 167.)

Maasululla tarkoitetaan tilannetta, jossa virtapiirissä oleva johdin joutuu esimerkiksi eristysvian vuoksi, johtavaan tilaan maahan johtavassa laitteistoissa tai johdin koskettaa maahan. Maasulussa voi syntyä vaarallisia jännitteitä, minkä vuoksi maasta erotetussa verkossa aiheutuva maasulku aiheuttaa verkkoon ja sen lähialueille hengenvaaran. Maasta erotetun verkon maasulussa syntyvän maasulkuvirran suuruus riippuu koko galvaanisesti yhteen kytketyn verkon pituudesta ja johtotyypistä. Maasulkuvirran suuruuteen vaikuttaa myös vikaresistanssin suuruus. Verkon ollessa

maasta erotettu tai sammutettu on maasulkuvirran arvo huomattavasti pienempi kuin oikosulussa. (Elovaara & Haarla 2011, 340.)

### 3.3 Vuoden 2013 sähkömarkkinalaki

Vuonna 2013 voimaan astuneessa sähkömarkkinalaissa 51 § ja 119 § veloitetaan verkkoyhtiöiltä seuraavaa:

#### *51 § Jakeluverkon toiminnan laatuvaatimukset*

*1) Verkko täyttää järjestelmävastaavan kantaverkonhaltijan asettamat verkon käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskevat vaatimukset;*

*2) jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta asemakaava-alueella verkon käyttäjille yli 6 tuntia kestävä sähkönjakelun keskeytystä;*

*3) jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta muualla kuin 2 kohdassa tarkoitettulla alueella verkon käyttäjille yli 36 tuntia kestävä sähkönjakelun keskeytystä.*

#### *119 § Jakeluverkon toimintavarmuutta koskeva siirtymäsäännös*

*Jakeluverkonhaltijan on täytettävä 51 §:n 1 momentin 2 ja 3 kohdassa säädetyt vaatimukset vastuualueellaan viimeistään 31 päivänä joulukuuta 2028. Vaatimusten on täytyttävä viimeistään 31 päivänä joulukuuta 2019 vähintään 50 prosentilla jakeluverkon kaikista käyttäjistä vapaa-ajan asunnot pois lukien ja viimeistään 31 päivänä joulukuuta 2023 vähintään 75 prosentilla jakeluverkon kaikista käyttäjistä vapaa-ajan asunnot pois lukien. (Sähkömarkkinalaki 588/2013, 51§, 119 §.)*

Näitä pykälää noudattaen on Suomessa aloitettu mittavat maakaapelointityöt eri verkkoyhtiöiden toimialueilla. Vuoden 2016 lopussa Elenia Oy:n koko verkon alueella maakaapelointiaste oli prosentuaalisesti 38 %, joka on yhteensä 68 900 kilometriä. (Säävarman tarina, n.d.)

### 3.4 Ilmajohtoverkko

Ilmajohtoverkkojen rakentaminen on aloitettu jo 1950 -luvulla, ja niiden käyttöikä on 40—50 vuotta. Verkkojen käyttöikä ei perustu niinkään ilmajohtojen rappeutumiseen, vaan esimerkiksi pylväsrakenteiden kunnan heikentymiseen.

Ilmajohtoverkko on rakennettu pääsääntöisesti haja-asutusalueilla metsäosuuksille. Syy tähän rakentamistapaan on ollut mahdollisimman pienet materiaalikustannukset. Kun ilmajohtoverkkoa on rakennettu pienillä kustannuksilla, ei sähköverkon luotettavuuteen ole kiinnitetty tarpeeksi huomiota. Ilmajohtoverkon sijoittaminen metsiin kustannussyistä ei ollut ainoa syy, jolla tätä rakennustapaa on perusteltu, vaan sitä on perusteltu myös verkon näkymättömyydellä. Uutta sähköverkkoa suunniteltaessa on sen luotettavuutta pidetty keskeisenä reunaehtona. Sähköjakeluverkon suunnittelu- ja rakennustöissä huomioidaan tulevaisuuden sähköverkon kasvu-, huolto- ja ylläpitotoimet. Pääsääntöisesti uusi maakaapeliverkko pyritään siis sijoittamaan teiden laitoihin tai pelloille edellä mainittujen toimien helpottamiseksi. (Lakervi & Partanen 2008, 143-144.)

Ilmajohtoverkoissa olevat linjaerottimet ovat hyödyksi sähköjakelun häiriötilanteissa. Niillä voidaan jakaa tarvittaessa verkkoa pienempiin osiin, mikä auttaa vikapaikan selvityksessä. Kaukokäyttöerottimilla voidaan tehdä haastavissa häiriötilanteissa monimutkaisiakin varayhteysjärjestelyjä. (Lakervi & Partanen 2008, 151.)

### 3.5 Pylväsmuuntamot

Muuntaja on sähkölaite, joka muuntaa jännitteitä käyttötarkoitukseen sopivaksi joko suuremmaksi tai pienemmäksi jännitteeksi. Jännitteiden muuntaminen perustuu kahden tai useamman käämityksen välillä olevaan sähkömagneettiseen induktioon. (Elovaara & Haarla 2011, 141.)

Ilmajohtoverkossa käytetty muuntaja on rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan sama kuin puistomuuntamoissa käytetty muuntaja. Pylväsmuuntamot, kuten myös puistomuuntamot, muuntavat sähköjakeluverkossa yleisesti 20 kV:n jännitteen 0,4 kV:n jännitteen tasolle. Tällaisia muuntamoita on kutsuttu yleisesti jakelumuuntamoiksi.



Kuvio 3. Pylväsmuuntamo

Ilmajohdoverkon tärkeimpiä osia ovat pylväsmuuntamot (ks. kuvio 3) sekä niiden lisävarusteet (ks. kuvio 4), joiden kautta kytketään keskijännitejohdot muuntajan ensiöliittimiin. (Lakervi & Partanen 2008, 157.)



Kuvio 4. Pylväsmuuntajaerotin

Erottimien tehtävänä on tehdä laitoksen tai muuntamon osa jännitteettömäksi turvallista työskentelyä varten. Erottimen tulee muodostaa turvallinen avausväli erotettavan virtapiirin ja muun laitoksen välille. Erottimen avausväli tulee olla näkyvä tai

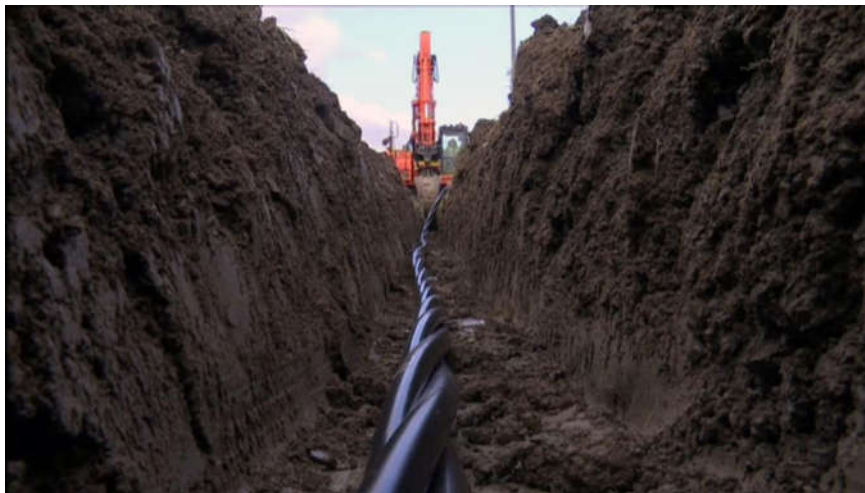
erotin on varustettava luotettavalla mekaanisella asennonosoituksella. (Elovaara & Haarla 2011, 190.)

Erottimien lisäksi jokaisen muuntajan, jokainen lähtö tulee varustaa sulakkeilla. (Lakervi & Partanen 2008, 157.)

Tärkeimpiä varusteita jakelumuuntajilla ovat mm. katkaisijat, erottimet ja pien- ja keskijänniteverkossa käytettävät varokkeet. Tarvittaessa laitteet voidaan varustaa ylijännitesuojin, jolloin ylijännitesuoja kytketään suoraan venttiilisuojiin niiden rinnalle. Pienten jakelumuuntajien ylijännitesuojaus voidaan toteuttaa myös kipinäväleihin. (Elovaara & Haarla 2011, 76.)

### 3.6 Maakaapeliverkko

Maakaapeliverkkojen rakentaminen lisääntyi nopeasti sähkömarkkinalain uudistuksen myötä. Elenia Oy:n sähkönjakeluverkon alueella tavoitteena on nostaa maakaapelointiaste 70 %:iin vuoteen 2028 mennessä. (Säävarman tarina, n.d.)



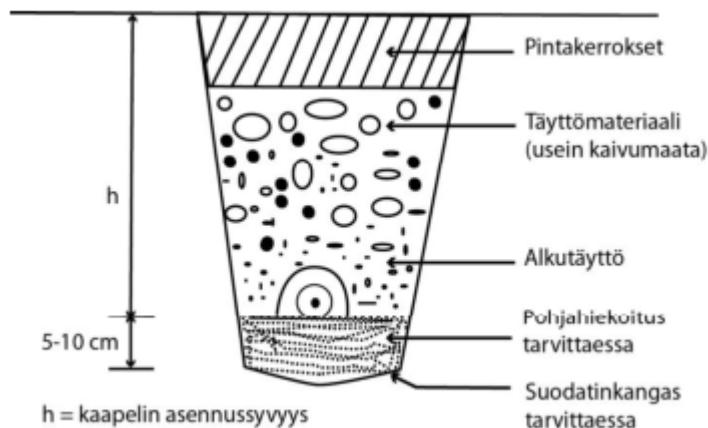
Kuvio 5. Maakaapelointia, Wiski Plain

Elenian verkon saneerauskohteissa kaapelityypit määräytyvät työkohteen mukaisesti. Maakaapelityyppeinä 20 kV:n nimellisjännitteellä voivat olla esimerkiksi AHXAMK-W ja AHXAMK-WP- tyyppin kaapelit (ks. kuvio 5). Kaapelityyppeinä 0,4 kV:n nimellisjän-



nitteellä ovat eri poikkipinnaltaan olevat AXMK- kaapelit. Kaapelien poikkipinta määräytyy aina tapauskohtaisesti kuormituksen ja sähkön siirtomatkan mukaan.

Maakaapelointi toteutetaan kaivamalla tai auraamalla tarvittava määrä kaapeleita maan alle. Teiden alitukset voidaan tehdä joko suuntaporaamalla tai tunkkaamalla tarvittavat putket tien ali. Standardin mukaan maakaapelin suositus asennussyvyys on 70 cm kaikille kaapeleille (mitta h, ks. kuvio 6). (Kaapeliojat, 2014.)



Kuvio 6. Kaapeliojan periaatteellinen poikkileikkaus

Kaapeliojan kaivannon ollessa alle 70 cm syvä, tulee kaapeli suojata joko kourulla, luokan A-suojaputkella tai betonoinnilla. Suojaukset toteutetaan näissä poikkeustilanteissa standardin SFS 5608 mukaisesti.

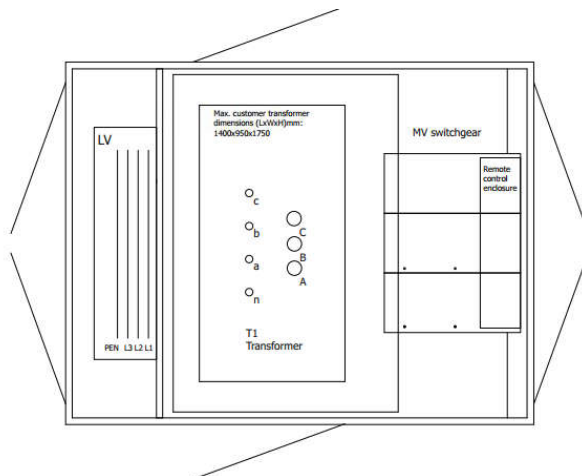
Jos verrataan maakaapeliverkkojen kokonaispituuksia vanhojen ilmajohtoverkkojen kokonaispituuksiin, huomataan maakaapeliverkon pituuden olevan yleensä hieman pidempi kuin ilmajohtoverkossa. Tämä johtuu maakaapeliverkon rakentamisesta teiden tai peltojen reunoille, suoran peltojen tai metsien poikki kulkevien pylvälinsinjojen sijaan. Suunniteltaessa maakaapeliverkkoa, tulee mitoitus-teho valita pitkän aikavälin mukaan, johtuen verkon kalliista muunneltavuudesta. (Lakervi & Partanen 2008, 161.)

### 3.7 Puistomuuntamot

Joissakin tilanteissa hyödynnetään vanhoja pylväsmuuntamoita uuden maakaapeli-verkon rakentamisen yhteydessä. Pääsääntöisesti maakaapelointitöiden edetessä uusitaan pylväsmuuntamoita ja ne korvataan puistomuuntamoilla (ks. kuvio 7). Puistomuuntamot ovat mallista riippuen noin kaksi metriä leveitä ja kolme metriä pitkiä, joten ne vievät hieman enemmän tilaa kuin pylväsmuuntamot. Puistomuuntamot ovat pylväsmuuntamoihin verrattuna huoltoystävällisempiä, sekä ympäristöystävällisempiä. Muuntajan rikkoutuessa, muuntajan sisällä oleva muuntajaöljy ei pääse valumaan ympäristöön. Muuntajan alla on keruullas, jolla estetään muuntajaöljyn vapautuminen ympäristöön ja maa-ainekseen (SFS 6001:2015, 77).



Kuvio 7. Puistomuuntamo ABB Luna 2c



Kuvio 8. Puistomuuntamo, ABB Mercury 10C 630E3, kytkentä

Kuviossa 8 on kuvattu tavallisen puistomuuntamon rakenne ylhäältä päin katsottuna. Keskijännite 20kV kytketään MV switchgear (medium voltage switchgear) puolelle, josta on liitännät muuntajan ensiöliittimille. Muuntajan toisiopuolelta kytketään syöttöjännite LV (low voltage) puolen pienjännitekeskuksen jonovarokkeille 0,4kV:n nimellijännitteenä. Kuviossa 7 esiintyvä puistomuuntamo voidaan varustaa enintään 5 x 400A jonovarokkeella tai 7 x 160A jonovarokkeella (Elenian puistomuuntamot, 2017). Jonovarokkeiden maksimimäärä ja puistomuuntamon sisälle asennettavan muuntajan koko määräytyy puistomuuntamon koon ja rakenteen mukaisesti.

## 4 Sähköinen suunnittelu

Sähköinen suunnittelu on tärkeä osa sähköverkon rakentamista. Sähköisessä suunnittelussa tutkitaan koko saneerattavan verkon alueella tapahtuvia pitkän aikavälin muutoksia ja pyritään mitoittamaan verkko tulevaisuuden tarpeisiin.

Pien- ja keskijänniteverkkojen mitoituksen ja suunnittelutyön keskeisiä tavoitteita ovat taloudellisuus, kuormituskestoisuus, oikosulkukestoisuus, riittävä jännitetaso, jännitevaihteluiden minimointi ja mahdollisten oikosulkutilanteiden nopea poiskytkentä. (Elovaara & Haarla 2011, 157-160).

Elenia Oy:n verkon alueella on suunnitteluvaiheessa otettava huomioon sähkönlaadun raja-arvot, jotka perustuvat eri standardeihin. Työskennellessään sähköverkko-suunnittelussa tulee suunnittelijan olla tietoinen kulloisenkin verkkoyhtiön suosituksista sähkönlaadun raja-arvoille. Tähän opinnäytetyöhön liittyvän projektin sähköisen suunnittelun tekivät Elenia Oy:n suunnittelijat.

### 4.1 Trimble Nis -suunnitteluohjelma

Trimble Nis on sähköverkkojen suunnitteluun käytettävä ohjelma. Saneerattavasta verkosta tehdään ohjelmaan sähköinen suunnitelma, jota voidaan tarpeen mukaan muokata. Eri sähköverkkoyhtiöt saattavat käyttää eri suunnitteluohjelmia. Sähköistä suunnitelmaa työstetään koko suunnittelu- ja rakentamistyön ajan. Suunnitteluohjelma on laaja ja sen vuoksi haastava käytettävä.

Trimble Nisin Verkon suunnittelu ja rakentaminen -sovellus tukee suunnittelun osalta kaikkia suunnittelun tasoja. Ohjelma tunnistaa verkossa olevia heikoimpia osia. Ohjelmalla voidaan tarvittaessa mallintaa vaihtoehtoisia teknisen, taloudellisen ja luotettavuuden näkökulmia. Ohjelman mallinnus on tärkeä pitkän tähtäimen suunnittelussa. Ohjelmassa voidaan laskea verkon rakentamiseen tarvittavia materiaaleja, toimenpiteitä ja kustannuksia. Ohjelman keskeisiä hyötyjä ovat virheiden vähentyminen, rakentamisen kustannustehokkuus, luotettava perusta päätöksenteolle ja työnkulku, joka on sujuvaa. (Verkon suunnittelu ja rakentaminen, n.d.)

## 4.2 Sähkön laatu

Sähkön laatua on käsitelty mm. standardeissa SFS-EN 50160:2010 sekä Adato Energia Oy:n julkaisussa Jakeluverkon sähkön laadun arviointi (Adato 2001). SFS-EN 50160:2010 on eurooppalainen standardi, joka käsittelee jakelujännitteen tasoa, taajuutta, harmonisia ja epäharmonisia yliaaltoja, valojen välkyntää eli flikkeriä sekä verkkokäskytaajuuksia. Standardia tulkitessa tulee huomata sen tilastollinen lähestymistapa, joka antaa parametreja jännitteen laadun raja-arvoille aikaan perustuvilla prosenttiluvuilla. (Elovaara & Haarla 2011, 435.)

Vanha ilmajohtoverkko on yleensä heikompi sähkönlaadultaan verrattuna uuteen maakaapeliverkkoon. Kuten jo aiemmin on mainittu, ilmajohtoverkkoa rakennettaessa 1950 –luvulla ei sähkönlaatuun kiinnitetty huomiota. Uutta verkkoa suunniteltaessa sähkönlaatuun on kiinnitettävä huomiota ja sitä pidetäänkin suunnittelutyön reuna-aehtona.

Elovaaran ja Haarlan mukaan sähkön laatuun vaikuttavat asiat voidaan jakaa kuuteen kategoriaan:

- jännitteen taso verrattuna verkon nimellisjännitteeseen sekä jännitteen epäsymmetriat ja hitaat vaihtelut
- nopeat vaihtelut jännitteessä eli jännitehäiriöt
- jännitteen käyrämuodon vääristymät
- taajuuden nimellisarvostaan poikkeamat
- keskeytykset sähköntoimituksessa
- rajoitukset sähkönkäyttöoikeuksissa.

(Elovaara & Haarla 2011, 421.)

Standardissa SFS-EN 50160:2010 määritellään sähkön laadullisia arvoja. Verkkoa suunniteltaessa on suunnittelijan osattava käyttää suunnitteluun liittyviä standardeja.

Jännitekuoppa ei ole yleensä syy kuormituksen kasvusta johtuvasta jännitevaihteluista.

*Jännitekuopat aiheutuvat yleensä yleisessä jakeluverkossa tai verkkokäyttäjän asennuksissa tapahtuvista vioista. Jännitekuopat ovat luonteeltaan hyvin ennalta arvaamattomia ja vaihtelevat sattumanvaraisesti paikasta toiseen ja myös ajallisesti. (SFS-EN 50160:2010, 24-27.)*

Jännitteen vaihtelu voi olla esimerkiksi kuormituksesta johtuvaa. Yleisin syy Suomessa jännitteen vaihtelulle on kylmät sääolosuhteet ja niiden aiheuttama lisääntynyt sähköntarve. Standardi SFS-EN 50160:2010 määrittelee jännitteen tasolle seuraavaa:

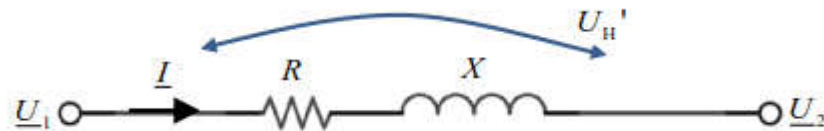
*Normaaleissa käyttöolosuhteissa, pois lukien keskeytysjaksot, jännitetason vaihtelut eivät saisi ylittää + 10 % nimellisjännitteestä  $U_n$ .*

*Tapauksissa, joissa jakeluverkkoa ei ole liitetty yleiseen siirtoverkkoon tai erityisillä syrjäseutujen verkon käyttäjillä jännitevaihtelun ei tulisi ylittää + 10 % / -15 % nimellisjännitteestä  $U_n$ . Verkon käyttäjiä tulisi informoida näistä vaihteluista. (SFS-EN 50160:2010, 20.)*

Tällöin sähköverkko on kovan rasituksen alaisena, mikä saattaa aiheuttaa jännitevaihteluita. Jännitevaihteluita saattavat aiheuttaa myös verkossa tehtävät kytkennät tai viat. Jännitevaihtelut saattavat ilmetä haja-asutusalueilla esimerkiksi valojen välkyntänä, flikkerinä.

### 4.3 Jännitteen alenema

Jännitteen alenemaa tulee tarkkailla verkkoa suunniteltaessa. Jännitteen alenema on kuvattu kuviossa 9 kaapelin sijaiskytkennällä.



Kuvio 9. Jännitteen alenema

jossa

$\underline{U}_1$  = jännite johdon alkupäässä [V]

$\underline{U}_2$  = jännite johdon loppupäässä [V]

$U_H'$  = jännitteen alenema [V]

$X$  = reaktanssi [ $\Omega$ ]

$R$  = resistanssi [ $\Omega$ ]

$\underline{I}$  = kuormitusvirta [A]

Johtimessa kulkeva kuormitusvirta  $\underline{I}$  kulkee johtimen resistanssin  $R$  ja reaktanssin  $X$  yli, luoden johtimeen jännitteen aleneman  $U_H'$ . Tällöin jännite johdon alkupäässä  $\underline{U}_1$  on suurempi kuin jännite johdon loppupäässä  $\underline{U}_2$ . (Puttonen, n.d.)

Jännitteen alenemaan vaikuttaa suoranaisesti johdon pituus, jolla sähkö toimitetaan asiakkaalle. Jännitteen aleneman arvoja tulee tarkastella suunnittelutyön edetessä, jotta pysytään sallituissa raja-arvoissa.

### 4.4 Oikosulkuvirta ja vikavirrat

Sähköisen suunnittelun edetessä on hyvä tarkkailla oikosulkuvirran arvoja. Standardissa SFS 6001:2015 määritellään oikosulkuvirrasta seuraavaa:

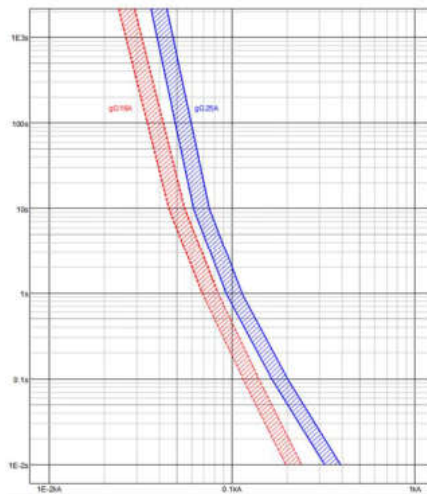
”Laitteistot on suunniteltava, rakennettava ja asennettava paikoilleen niin, että ne varmasti kestävät oikosulkuvirtojen mekaaniset ja termiset rasitukset.” (SFS 6001:2015, 33)

Vikavirran kestoisuus tulee tarkastella neljällä eri tapaa: kolmivaiheisena tai kaksivaiheisena oikosulkuna maakosketuksella ja ilman maakosketusta, yksivaiheisena maasulkuna ja kaksoismaasulkuna. Näiden neljän eri tavan välillä tulee määrittää kohteen pahin vikavirta. Standardisarjassa IEC 60909 esitetään oikosulkuvirran laskentamenetelmiä voimakapeleille, sekä kolmivaiheisille vaihtosähköjärjestelmille. (SFS 6001:2015,33)

#### 4.5 Ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus sekä selektiivisyys

Mahdollisen pitkäaikaisen ylikuormituksen vuoksi varustetaan muuntajat, generaattorit, kondensaattorit, reaktorit ja moottorit laukaisevilla ylikuormitussuojilla. Ylikuormitussuojat estävät laitteiden kuumenemisen ja vaurioitumisen. Ylikuormitustilanteessa siirtoverkossa lähtee verkonvalvojalle ilmoitus käytönvalvontajärjestelmästä, jonka mukaan verkonvalvoja alkaa tehdä tarvittavia toimenpiteitä. Normaalitylanteissa kantaverkossa olevissa johdoissa ei ole laukaisevia ylikuormitussuojia. (Elovaara & Haarla 2011, 342.)

Oikosulkuvirran aiheuttaman palovaaran ja henkilösuojauksen vuoksi, tulee jokainen piiri varustaa oikosulkusuojalla. Oikosulkusuojaksi mitoitettava suojalaite estää oikosulkuvirran aiheuttaman lämpötilan nousun katkaisemalla oikosulkuvirran. Oikosulkusuojasta mitoitettaessa, tulee huomioida suojalaitteen katkaisukyky. Katkaisukyky tulee olla suurempi kuin vikapaikan oikosulkuvirta. Tilanteessa, jossa ensimmäisen suojalaitteen katkaisukyky ei riitä oikosulkuvirran katkaisuun, tulee sen eteen mitoitaa ja asentaa suojalaite, joka rajoittaa oikosulkuvirtaa tai jonka katkaisukyky on riittävä. Kahdella suojalaitteella suojatussa piirissä tulee kiinnittää huomiota laitteiden selektiivisyyteen. Suojalaitteiden täydellinen selektiivisyys (ks. kuvio 10) ei aina ole mahdollista, suojalaitteiden toimintakäyrien takia. Täydellisellä selektiivisyydellä tarkoitetaan tilannetta, jossa suojalaitteiden toimintakäyrät eivät leikkaa ja suojalaitteista jälkimmäisen toimintakäyrä on alempana kuin etummaisena suojalaitteen. Selektiivisyyttä tärkeämpää on kuitenkin aina henkilöturvallisuus. (Puttonen, n.d.)



Kuvio 10. Täydellinen selektiivisyys

#### 4.6 Muuntajien ja kaapelien valinta

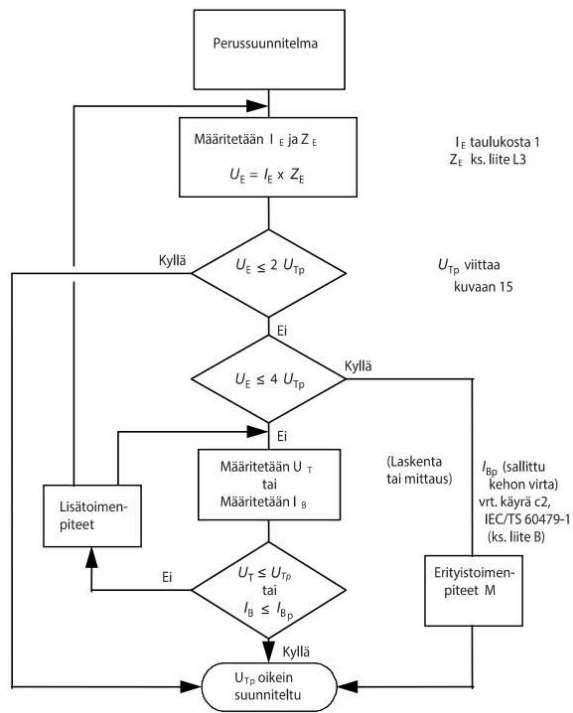
Uutta verkkoa suunniteltaessa on hyvä ylimitoittaa sähköjakeluverkko tulevaisuutta ajatellen. Suunnittelutyössä on myös tutkittava suunniteltavan verkon alueella mahdolliset lisäkaavoitusalueet. Lisäkaavoitusalueet huomioiden voidaan verkko ylimitoittaa tulevaisuuden tarpeisiin. Kaapeleiden poikkipinnan koko tulee olla ylimitoitettu työn suunnitteluvaiheessa, jotta säästytään verkon kasvun tilanteessa kalliilta kaapelin vaihtotyöltä. Kaapelin poikkipinta vaikuttaa suoranaisesti kaapelin kuormitettavuuteen. Sama ylimitoitus koskee muuntajia. Tarkka verkon mitoitus mm. muuntajille ja kaapeleille voidaan tehdä joko ohjelmallisesti esimerkiksi Trimble Nis - suunnitteluohjelmassa tai käsin laskemalla.

#### 4.7 Maadoitusten mitoitus

Sähköverkko suunnittelussa tulee ottaa huomioon jo varhaisessa vaiheessa maadoitusten riittävyys ja sallittu kosketusjänniteluokitus. Elenia Oy:n ohjeistuksen mukaan, ensisijaisesti muuntamoilla käytetty maadoitusryhmä on 2Utp. Edellä mainittu huomioon ottaen, muuntamoiden maadoitusjärjestelmä rakennetaan kuitenkin 4Utp- vaatimusten mukaisesti. (Jakeluverkon maadoitusten rakenne, 2016.)

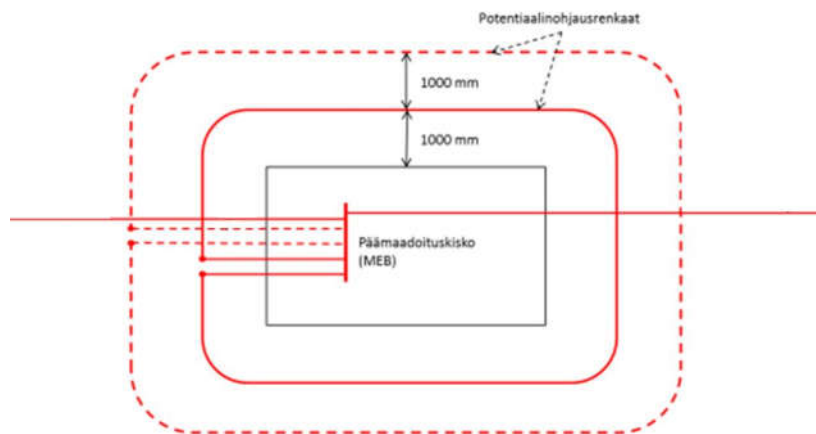


Maadoitusjärjestelmien laskenta tapahtuu SFS 6001:2015 ohjeistuksen (ks. kuvio 11) mukaisesti. Puistomuuntamoiden maadoitukset toteutetaan yleisesti maaolosuhteiden mukaisesti. Verkkoyhtiöiden asettamat ohjeistukset maadoituksiin perustuvat mm. standardiin SFS 6001:2015.



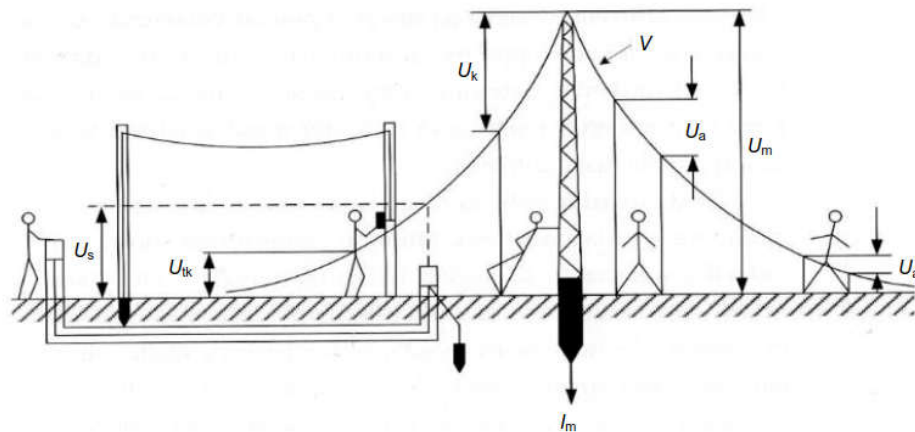
Kuvio 11. Maadoitusjärjestelmän suunnittelu

Maadoituselektrodien lisäksi puistomuuntamoille tulee rakentaa yksi tai kaksi potentiaaliohjausrengasta (ks. kuvio 12), jotka tasaavat maapotentiaaliohjausrengas ympäristön ympärillä. Potentiaaliohjausrengaiden määräksi riittää yleensä yksi, kun puistomuuntamo on sijoitettu haja-asutus alueille. Kaksi potentiaaliohjausrengasta tulee asentaa puistomuuntamoille, jotka ovat sijoitettu taajama-alueelle. (Maadoitusjärjestelmien suunnittelu, 2016.)



Kuvio 12. Muuntaja ylhäältä, maadoitusjärjestelmä

Kaukana maadoitettu eristetty johde tai johto, esimerkiksi vesiputki, voi synnyttää pylvässä tai muussa sähkölaitteiston rakenteessa Utk:n, eli tarkemmin sanottuna takaperoisen kosketusjännitteen. Takaperoinen kosketusjännite sekä yleinen potentiaalijakauma muodostuu kuvion 13 mukaisesti.



Kuvio 13. Potentiaalijakauma pylvään läheisyydessä (Alkup. kuvio Elovaara & Haarla, 2011, 429)

jossa

$V$  = maan pinnan potentiaali

$U_m$  = maadoitusjännite [V]

$U_k$  = kosketusjännite [V]

$U_a$  = askeljännite [V]

$U_s$  = siirtyvä jännite [V]

$U_{tk}$  = takaperoinen kosketusjännite [V]

$I_m$  = maadoitusvirta [A]

(Elovaara & Haarla 2011, 429.)

#### 4.8 Sähköturvallisuus

Sähköturvallisuus on tärkeä osa suunnittelutyötä. Nimellisjännitteeltään yli 1 kV:n vaihtojännitteisiä sähköasennusten suunnittelu- ja asennustöitä koskevia vaatimuksia voi tarkastella standardista SFS 6001:2015. Kyseinen standardi ei ota huomioon pelkästään uutta verkon rakentamista, vaan se huomioi myös korjaus-, muutos- ja laajennustyöt. Enintään 1 kV:n sähköasennusstandardina on SFS 6000:2012. (Elovaara & Haarla 2011, 76.)

Jännitetöitä tehdessä tulee noudattaa standardien SFS 6000:2012 ja SFS 6001:2015 määrittämiä työskentelytapoja ja työryhmiä. Jännitetöitä pyritään tekemään mahdollisimman paljon, asiakaskeskeytyksien estämiseksi (Leinonen, 2017).

## 5 Suunnittelun vaiheet

Työkohde, jonka ohella perehdytysopas koottiin, oli laaja. Siihen lukeutui n. 22 km 0,4 kV:n pienjänniteverkkoa ja n. 20 km 20 kV:n keskijänniteverkkoa. Todellinen reititipituus työkohteella oli n. 27 km ottaen huomioon pien- ja keskijännitelinjojen yhteiskaivannot. Kohteessa oli 20 kpl muuntamoita ja 45 kpl jakokaappeja, joista osa oli haaroituskaappeja. Työ oli haastava pelkästään laajuutensa vuoksi. Työkohde sijaitsi suurimmaksi osaksi haja-asutusalueella ja kohteessa oli vähäinen määrä muita, jo olemassa olevia rakenteita maan sisällä.

## 5.1 Lähtökohdat

Kohteeseen oli tehty sähköinen suunnittelu koko saneerattavan verkon osalta Elenia Oy:n suunnittelijoiden toimesta ja näin ollen alustavan suunnitelman runko oli valmis. Alustava suunnitelma pitää sisällään yleensä koko verkon ja sen komponentit, joiden pohjalta aloitetaan varsinainen maastosuunnittelu. Alustavan suunnitelman laajuus riippuu sähköverkkoyhtiöstä ja saneerattavasta verkosta.

Sähköinen suunnitelma on luettavissa ja muokattavissa työkohteen edetessä sähköverkkoyhtiökohtaisen suunnitteluohjelman alla. Käytettävä suunnitteluohjelma määräytyy sähköverkkoyhtiön mukaan.

Sähköverkon saneeraaminen maakaapeliverkoksi painottuu enimmäkseen saneerattaviin keskijännitelinjoihin sekä niiden rinnalla toimiviin muuntamoihin. Syy keskijännitelinjojen saneeraamiseen on niiden kriittisyys sähköjakelussa. Kuten aiemmin on jo todettu, keskijännitelinjan vikaantuessa saattaa monia kymmeniä talouksia kärsiä sähköjakeluhäiriöistä. Keskijännitelinjan ohella saneerataan myös pienjännitelinjoja, jotka ovat yleensä suunnitelman pääreitit vierellä. Saneerattavien pienjännitelinjojen laajuus määräytyy työkohteen laajuuden mukaan. Saneerattavissa työkohteissa käytettävät kaapelit, muuntajat ja muut komponentit ovat yleisesti sähköverkkoyhtiön määrittelemiä.

## 5.2 Maastosuunnittelu

Työkohteen alustavaan suunnitelmaan tutustumisen myötä aloitetaan maastosuunnittelu. Maastosuunnittelussa pyritään etsimään paras mahdollinen maakaapelointireitti sekä tulevien muuntamoiden ja jako- ja haaroituskaappien paikat. Maakaapelireittiä suunniteltaessa pyritään tekemään tiivistä yhteistyötä maanomistajien kanssa ja pääsemään lopputulokseen, joka on miellyttävä niin sähköverkkoyhtiölle kuin maanomistajallekin.

### 5.2.1 Muuntamoiden sijoituspaikat

Sähköiseen suunnitelmaan muuntamopaikat sijoitetaan keskeiselle alueelle ja ne saattavat sijaita maastollisesti haastavassa paikassa. Siksi muuntamopaikat on hyvä käydä maastossa läpi ja kartoittaa eri vaihtoehtoja muuntamon sijoituspaikoille. Sijoi-

tuspaikkaa kartoittaessa on tärkeä ottaa huomioon alustavassa suunnitelmassa olevan muuntamon paikka.

Keskeinen muuntajan sijainti on tärkeä sähköverkon raja-arvojen vuoksi. Muuntaja tulee myös sijoittaa siten, että se ei ole alavalla kohtaa veden vaarassa. Muuntaja paikan muuttuessa reilusti, on hyvä kiinnittää huomiota sähköverkon raja-arvoihin. Jos muuntajan paikka muuttuu alustavasta suunnitelmasta selvästi, on hyvä tällöin myös ottaa yhteyttä sähköverkkoyhtiön suunnittelijaan. Jos muuntajan paikka poikkeaa pääreitiltä, kasvavat myös kaapelien mitat ja näin ollen muutoksia saattaa tulla niin jännitteen aleneman kuin oikosulkuvirran arvoihin.

### 5.2.2 Jako- ja haaroituskaappien sijoituspaikat

Muuntamot, joita käytetään ilmajohtoverkon saneeraamisessa maakaapeliverkoksi, on varustettu pienjännitelähdöillä, jotka on suojattu kahvasulakkeilla. Pienjänniteverkossa voi olla monta pistettä, jonne tarvitsee toimittaa sähköä. Jos sähkön siirtomatkan on pitkä ja siirtopisteessä on monta liittujää, tulee muuntajan ja liittymien välille sijoittaa jakokaappi (ks. kuvio 14).



Kuvio 14. Kaapelijakokaappi Emitter OKKJK-P 250A BC+2x160

Jakokaapin tarkoitus on jakaa nimensä mukaisesti sähköä sähköasiakkaille. Jako-kaappiin tuodaan yleensä runkokaapelina toimiva pienjännitekaapeli, joka on poikkipinnaltaan riittävä tarvittaville liittyjille. Jakokaapissa tehdään kytkentä, jolla runko-

kaapeli jaetaan jakokaapilta lähteille liittyjille. Jakokaapin koko ja varokkeet määräytyvät tilanteen mukaan.

Haarotuskaapit ovat miltei samanlaisia kuin jakokaapit, mutta pääsääntöisesti pienempiä eivätkä sisällä suojalaitteita. Haarotuskaappien rakenne on hyvin selkeä ja yksinkertainen. Kaappia käytetään tilanteessa, jossa asiakkaalle on tarve tuoda suuremmalla poikkipinnalla oleva kaapeli lähemmäksi liittymispistettä, jotta pysytään sallituissa sähkön laadun raja-arvoissa. Tällaisessa tilanteessa haarotuskaapissa pienennetään kaapelin poikkipintaa, jotta se voidaan kytkeä mittauskeskukselle. Haarotuskaappia käytetään myös, kun on tarve tehdä lisämaadoitusta verkkoon. Maadoitus rakennetaan kuten jakokaapissa, se maadoitetaan vähintään 25 metrin Cu16 kupariköydellä. Maadoituksen määrä riippuu maaolosuhteista, kuten jo todettu luvussa 4.6.

Kuten puistomuuntamoiden sijoituksissa, tulee jakokaappien paras mahdollinen sijoituspaikka katsoa maastossa. Osan kaapeista ollessa tänä päivänä muovisia, tulee ottaa huomioon ympäristön aiheuttamat kuluttavat tekijät. Jako- ja haarotuskaapit pyritään sijoittamaan sivuun esimerkiksi päätieltä talvella tehtävien lumitöiden takia.

### 5.3 Sopimukset ja lupa-asiat

#### 5.3.1 Kunnat

Työskenneltäessä kunnan tai kaupungin alueella, on hyvä selvittää kyseisen kaupungin tai kunnan virastosta, millaisia dokumentteja tulee tehdä, kun rakennetaan maakaapeliverkkoa. Osa kaupungeista vaatii toimenpideilmoituksen ja lähinaapureiden kuulemisen, kun sijoitetaan muuntamoita maastoon. Kaapelien sijoittamiseen kunnan alueilla tarvitaan myös lupa. Aina suunnittelua aloitettaessa tulee ottaa yhteyttä kyseiseen kuntaan ja selvittää, millä ilmoituksilla tulee edetä esimerkiksi muuntamoiden sijoittamisen suhteen.

#### 5.3.2 Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus

Ely eli elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus asettaa omat määräykset Ely-alueille suoritettaville kaivutöille. Ely-alueilla työskenneltäessä tulee kohteessa tehtävien töiden osalta pitää aloituskatselmus ennen hakemuksen jättämistä ja töiden aloitta-

mista. Ely- alueella tehtävät kaapelointityöt on hyvä kartoittaa suunnittelun alussa ja pyrkiä tekemään Ely- hakemus suunnittelun alkuvaiheessa. Ely- alueilla suoritettavat kaapelointityöt tehdään pääsääntöisesti ojan pohjaan tai tiealueen rajalla kaapeloimalla, poikkeuksia lukuun ottamatta. Ojan pohjaan sijoitettaessa kaapeleita, on hyvä huomata Liikenneviraston määräys LIVI/4978/06.04.01/2016, jossa määritellään seuraavaa:

*Jyrkkäluiskeisella tiellä kaapeli on sijoitettava ojan ja tiealueen rajan väliin tai sivuojan leveään ulkoluiskaan vähintään 0,5 m vaaketaisuudelle ojan pohjasta, jos maisemallisesti arvokas tai muu kasvillisuus, kallio tai vastaava este ei estä sijoittamista. Jos sijoittaminen edellä kuvatulle alueelle ei onnistu, sallitaan sijoittaminen ojan pohjan alle, jos seuraavat ehdot toteutuvat:*

*1) maaperäkarttaan merkityn tai muuten tiedossa olevan ohutpeitteisen kallion kohdalla maaperätutkimuksin on osoitettu, että kallion päällä on vähintään 0,5 metrin maakerros ja*

*2) valokuvien osoitetaan, että tiealueen rajalle ei ole nostettu halkaisijaltaan yli 1 m kiviä tiealueen maaperästä tai muuten osoitetaan, että suuret halkaisijaltaan yli 1 metrin maakivet eivät estä kaapelin sijoittamista vähintään 0,5 metrin syvyyteen eikä niitä tarvitse poistaa kaivamalla. ( LIVI/4978/06.04.01/2016, 14§, 24.8.2016.)*

Kyseinen määräys tulee ottaa huomioon tiealueella tehtävien kaapelointien suhteen ja tarvittaessa liittää Ely- hakemukseen lisäselvitys, miksi kaapelointireitti tulee kyseisellä kohtaa sijoittaa ojan pohjaan.

Aloituskatselmuksessa katselmoidaan Ely- alueilla tehtävät kaapelointityöt läpi ja kirjataan ne ylös aloituspöytäkirjaan. Aloituspöytäkirjan tekee kyseisen Ely- alueen tienhoidollisista asioista vastaava henkilö.

Hyväksytyin Ely- hakemuksen tultua takaisin hakemuksen tekijälle, tulee vielä tehdä aloituskatselmuksen ennen töiden aloittamista.

### 5.3.3 Aluehallintavirasto

Työskenneltäessä vesistöjen lähellä tai vesistöissä, tulee työhön hakea aluehallintavirastosta vesilupa. Luvan tarvitsevia vesitaloushankkeita voivat olla esimerkiksi vesikulkuväylän ali rakennettava kaapelireitti. Aluehallintavirastoon tehtävä hakemus

osoitetaan sille aluehallintavirastolle, jonka alueella rakentamista tulee tapahtumaan. (Vesilain mukaiset luvat eli vesiluvat, 2017.)

#### 5.3.4 Maanomistajat

Maastosuunnittelua tehdessä tulee maanomistajien kanssa olla yhteydessä, kun tehdään suunnittelua kaapelointireittien osalta heidän kiinteistöilleen. Maastossa katsotut reitit helpottavat huomattavasti tulevaa suunnittelutyötä ja lupaprosessia.

Maanomistajille tehdään maankäyttösopimukset, joiden laatu määräytyy sähköverkkoyhtiön mukaan. Eri sähköverkkoyhtiöiden alueilla maksetaan eri määriä korvauksia aiheutuneesta haitasta ja näin ollen suunnittelijan tulee varmistaa aina sähköverkkoyhtiön ohjeistuksen mukaiset korvausmäärät.

Maankäyttösopimuksissa on maanomistajan tiedot, tarvittaessa korvauslaskelma sekä karttaliite, jolla on kuvattu hänen kiinteistöllään kulkevat kaapelointityöt. Lupaan liitettävä karttaliite on huomattavasti helpompi tehdä, kun on maastossa katsottu yhdessä maanomistajan kanssa kaapelointireitit.

#### 5.3.5 Muut tahot

Suunnitelmakohtaisesti määräytyy muiden lupien anominen. Työkohteen alueella saattaa muina toimijoina olla esimerkiksi VR tai tele-yhtiöitä. Muiden suunnitelman alueella olevien tahojen lupaprosessit kannattaa käydä läpi heti suunnittelun alkaessa pitkien lupien käsittelyaikojen vuoksi.

### 5.4 Maatyöt

Kuten luvussa 3.6 on kerrottu, maatyöt tehdään joko kaivamalla tai auraamalla tarvittava määrä kaapeleita maan sisään. Maatyöt tehdään työdokumenttien ja maastoon merkittyjen reittien mukaan.

### 5.5 Käyttöönotto

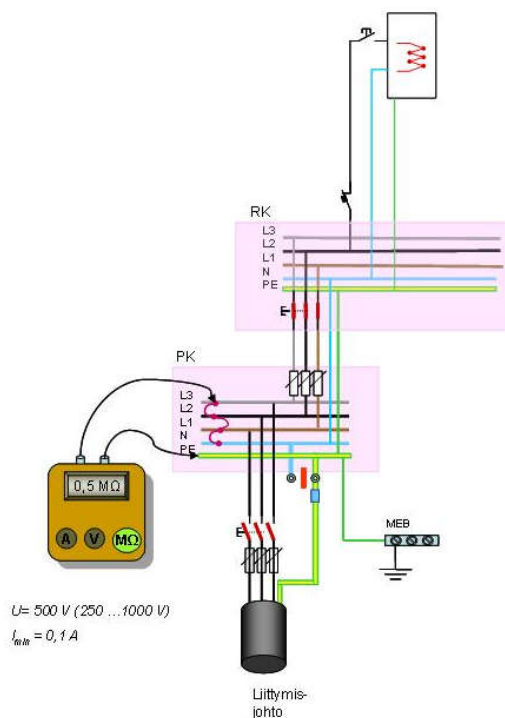
Käyttöönotto- lukua varten haastattelin Elektron E Oy:n työnjohtajaa Antti Leinosta.

Verkon käyttöönottoja tehtäessä, ollaan yhteydessä työnjohtoon joka tekee tarvittavat kytkentäaloitteet sähköverkkoyhtiölle. Keskijännitepuolen kaapeloinnille tehdään



vaiheiden eristysvastusmittausten lisäksi vaipaneheysmittaus, jolla todetaan myös kaapelin vaipan olevan kunnossa. Vaiheiden ja vaipan eheysmittausten tulokset kirjataan pöytäkirjaan. Kaapeliverkon rakenteiden ollessa valmiit käyttöönottoa varten, tehdään sähköverkkoyhtiölle kytkentäaloite. Kytkestäaloitteessa määritellään sähkökatkon ajankohta, kesto ja sijainti.

Kytkestäaloitteen teko määräytyy asiakaskatkojen mukaan. Keskeytysalueella tehtävä kytkentäaloite tulee tehdä hyvissä ajoin verkkoyhtiölle, jotta kytkentäsuunnitelman tekijöille jää riittävästi aikaa ilmoittaa asiakkaille tulevasta sähkökatkosta. Jos keskeytyksessä ei tule sähkökatkoksia asiakkaille, voidaan kytkentäaloite tehdä hiukan myöhemmin kuin aiheuttaessa asiakaskeskeytyksiä. Kytkestäaloitteen teko tapahtuu sähköverkkoyhtiön ohjeiden mukaisesti. Keskeytyskytkentä tehdään kytkentäsuunnitelmassa määrättyinä ajankohtana ja sen ohjeiden mukaan. Ennen sähkön kytkemistä pienjänniteverkkoon tehdään verkon osalle eristysvastusmittaus. Kuviossa 15 on esimerkki kiinteistön käyttöönottotarkastuksessa tehtävästä esitysvastusmittauksesta. Jakeluverkon käyttöönottomittauksessa mitataan jokaisen vaiheen eristysresistanssi erikseen ja mittaustulokset kirjataan pöytäkirjaan. (Leinonen, 2017.)



Kuvio 15. Eristysvastusmittauksesta kiinteistön käyttöönottotarkastuksessa

Eristysvastusmittaus tulee tehdä jännitteettömänä ennen verkon käyttöönottoa, turhien asiakaskeskeytyksien välttämiseksi. Eristysresistanssin pienimpiä sallittuja raja-arvoja esitellään taulukossa 1.

Taulukko 1. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot

Virtapiirin nimellisjännite V	Koejännite (tasajännite) V	Eristysresistanssi MΩ
SELV ja PELV	250	≥ 0,5
Enintään 500 V, FELV mukaan luettuna	500	≥ 1,0
Yli 500 V	1 000	≥ 1,0

Pienjännitteisten ja keskijännitteisten laitteistojen käyttöönotto mittauksen erittelyt löytyvät standardeista SFS 6000:2012 ja SFS 6001:2015.

Standardin SFS 6001:2012 luvussa 14.3. määritellään käyttöönottomittauksista suurjännitesähköasennuksessa seuraavaa:

*Tilaaaja ja toimittaja sopivat keskenään asentamisen ja käyttöönoton aikaisten testien vaatimuksista (menettelytavat ja hyväksymiskriteerit) sekä sovellettavista testausstandardeista. Käyttökokeilla voidaan tarvittaessa varmistua siitä, että laitteet täyttävät asetetut vaatimukset mm. automaattisen käynnistyksen ja poiskytketymisen osalta. (SFS 6001:2015, 103.)*

Käyttöönottotarkastus pöytäkirjan osalta pienjännitesähköasennuksissa määritellään seuraavaa:

*Käyttöönottotarkastuspöytäkirjan pitää sisältää:*

- *tarkastetun laitteiston yksilöintitiedot*
- *laitteiston rakentajan (urakoitsijan ja sähkötoiden johtajan) yhteystiedot*
- *tulokset tarkastuksista*
- *toteamus siitä, täyttääkö asennus standardin ja säännösten vaatimukset*
- *tiedot testatuista piireistä ja testaustulokset*

*Tarkastuspöytäkirjassa pitää esittää vähintään seuraavat testaustulokset ja tässä esitetyssä laajuudessa.*

- seuraavat eristystilan mittaustulokset: kiinteät asennukset, kytkinlaitteen takaiset asennukset, SELV- ja PELV- järjestelmien asennukset, sähköisen erotuksen asennukset
- jatkuvuusmittaukset keskusalueittain, yksittäisiä mittaustuloksia ei tarvitse kirjata vaan riittää toteamus vaatimusten täyttymisestä
- syötön automaattisen poiskytkennän toteamiseen tarvittavat mittausten tulokset keskusalueittain epäedullisimmissa pisteissä
- kaikkien vikavirtasuojien toiminnan testaustulokset sen mukaan täyttävätkö vaatimukset. Toiminta-ajat merkitään ylös silloin kuin vikavirtasuojia käytetään syötön automaattiseen poiskytkentään tai käytetään aikaisemmin käytössä olleita laitteita
- kiertosuunta keskuskohtaisesti
- laitevalmistajan asennusohjeiden mukaiset mittaustulokset sellaisista laitteista (esim. lämmityskaapelista), joille valmistaja edellyttää asennusohjeessaan mittauksia. (SFS 6000-6:2012, 12.)

Käyttöönottotarkastus on tehtävä silloin kuin:

*Uuden asennuksen tai olemassa olevan asennuksenlaajennuksen tai muutoksen valmistuttua tehtävä käyttöönottotarkastuspöytäkirja, silloin kun pöytäkirjan tekoa vaaditaan säännöksissä ks. KTMp (517/1996), tai sen tekemistä edellytetään muuten. Pöytäkirjan pitää sisältää asennuksen yksityiskohtaisen määrittelyn sekä tulokset tarkastuksista ja testauksista. (SFS 6000-6:2012, 12.)*

## 5.6 Dokumentointi

Kun verkko on otettu käyttöön, tulee se dokumentoida sähköverkkoyhtiön ohjeistuksen mukaan. Dokumentointi on tärkeä osa suunnittelutyön viimeistelyä, sillä dokumentoitu verkko toimii sähköverkkoyhtiöllä esimerkiksi vian paikantamiseen. Hyvin dokumentoidusta verkosta saa helposti selkeän kokonaiskuvan verkon rakenteesta. Erityistä tarkkuutta tulee kiinnittää dokumentoinnissa kaapelien paikantamiseen maastossa. Maanalle asennetut kaapelit yleensä etsitään kaapelitutkalla ja paikannetaan GPS- laitteella (ks. kuvio 16). GPS- laitteeseen kirjattu kaapelointireitti siirretään suunnitelmaan ja verkko dokumentoidaan vastaamaan GPS- reittiä. Dokumentoitu verkko palautetaan sähköverkkoyhtiölle ja verkkoyhtiö siirtää dokumentoidun verkon omaan verkon nykyistä tilaa esittävään tietokantaan.



Kuvio 16. Trimble Geo 7x- GPS laite

## 6 Perehdytysopas

Ilmajohtoverkon suunnittelutyö maakaapeliverkoksi on haastavaa ja se sisältää monia eri vaiheita, jotta päästään työkohteen luovutukseen saakka. Perehdytysopas helpottaa suunnittelutyötä, koska se on laadittu oikean työkohteen rinnalla ja siihen on kirjattu työtehtäviä, joita tehdään suunnittelutyön edetessä. Opasta voidaan käyttää niin uusien suunnittelijoiden perehdytyksessä kuin myös oman suunnittelutyön tukena.

Työtehtävät ovat kirjattu oppaaseen työkohteen etenemän mukaan, joten sen avulla voidaan valmistautua jo tulevaan työtehtävään. Opasta pystytään käyttämään laajasti eri työkohteisiin, koska se on yleispätevä ja sitä ei ole sidottu tiettyyn työkohteeseen. Oppaaseen on myös kirjattu ja dokumentoitu hiljaista tietoa suunnittelutyöstä. Hiljaista tietoa kerättiin työkohteen edetessä mm. omiin muistiinpanoihin, joita hyödynnettiin perehdytysoppaassa. Opas toteutettiin tiiviissä yhteistyössä työkohteessa toimineen toisen suunnittelijan kanssa. Perehdytysoppaaseen on kerätty häneltä saatuja huomioita ja tietoja. Näin ollen opas on laaja ja hyvä apuväline suunnittelutyössä. Perehdytysoppaan koostamiseen ei käytetty haastattelujen pohjalta saatua tietoa, koska opas haluttiin koostaa yrityksen nykyisen toimintamallin mukaisesti. Perehdytysopas sisältää salassa pidettävää materiaalia ja näin ollen sitä ei julkaista.

## 7 Pohdinta

Opinnäytetyön teoreettisen osan tavoitteena oli koostaa teoriaosuus, joka antaa peruskuvan sähköverkon rakenteista. Näin ollen teoriaosuutta voidaan hyödyntää myös suunnittelutyössä oppaan rinnalla. Opinnäytetyössä tutkittava ilmiö oli maakaapeliverkon rakentaminen ja sen aiheuttamat haasteet. Opinnäytetyö oli haastava ja aihealue laaja. Työn tutkimusmenetelmänä käytettiin kvalitatiivista tutkimusmenetelmää, jonka avulla sain syvemmän käsityksen miksi maakaapelointia tehdään ja millaisia haasteita maakaapelointityöt aiheuttavat. Työhön tuli haastavuutta ja rajoitteita tutkimusmenetelmän valitsemisen myötä. Tutkimusmenetelmän ollessa kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimusmenetelmä, työhön ei voinut luoda esimerkiksi erilaisia tilastoja, joka osakseen vaikeutti opinnäytetyön kirjoitusprosessia. Tilastoja olisi voinut hyödyntää tekstin tukena. Erilaiset tilastot olisi voinut koostaa esimerkiksi haastattelujen pohjalta ja tällöin työn tutkimusmenetelmänä olisi ollut kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä. Päädyin valitsemaan kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän työhön, koska koin sen opinnäytetyön sekä toimeksiantajan eduksi. Näin ollen opinnäytetyö voitiin koostaa toimeksiantajan ohjeistuksen mukaan. Opinnäytetyön teoriaosuuden laatu varmennettiin käyttäen luotettavien lähteiden kirjallisuutta. Toiminnallisessa osuudessa hiljaisen tiedon laatu voitiin varmistaa oikealla työkohteella, sillä perehdytysoppaaseen kirjatut asiat ovat suunnittelutöitä, joita tehdään oikeassa työkohteessa oppaassa olevien ohjeiden mukaisesti.

Todellisen työkohteen suunnittelutyö tehtiin tiiviissä yhteistyössä työkohteessa toimineen toisen suunnittelijan kanssa. Häneltä sain tarpeeksi tietoa, miten suunnittelutyö kannattaa tehdä ja näiden neuvojen avulla pystyin koota monipuolisen perehdytysoppaan toimeksiantajan käyttöön. Sähköverkon eri komponenteista ja vuoden 2013 lakiuudistuksesta löytyy kattavasti kirjallista materiaalia, jota pystyin hyödyntämään opinnäytetyössäni. Toiminnallisen osan suurin osa aineistosta oli hiljaista tietoa työkohteessa toimineelta toiselta suunnittelijalta.

Teoreettisessa osassa perehdyin jakeluverkon rakenteisiin hiukan syvällisemmin. Teoreettiseen osuuteen kokosin eri lähteistä tietoa sähkönjakeluverkkoon ja sen suunnitteluun liittyen. Teoriaosuudessa perehdyin sähkönjakeluverkon tärkeimpiin asioihin, jotka liittyivät jakeluverkon eri komponentteihin ja jakeluverkon suunnitteluun. Ennalta kerätyn kirjallisuuden ja muun teoriapohjan kautta saatu tietoperusta toimi hyvänä pohjana työn kirjoittamiselle. Teoreettisen osuuden lähteitä löytyi hyvin ja hyödynsin työssäni myös opinnoissa tutuksi tulleita standardeja sekä käsikirjoja.

Työn toiminnallisena tavoitteena oli tehdä selkeä perehdytyspaketti suunnittelijoiden perehdyttämiseksi ja suunnittelutyön tueksi. Toiminnallisen osuuden lähtökohtaisena käsitteenä oli hiljaisen tiedon kirjaaminen ja dokumentointi perehdytysoppaan muotoon.

Perehdytysoppaan kokoaminen oli haastavaa ja hyödyllistä. Opinnoissa ilmajohtoverkon saneeraamista maakaapeliverkoksi ei ollut käsitelty ollenkaan, joten opinnäytetyön elinkaari oli jatkuvaa oppimista. Opintojeni aikana saatu laskenta- ja teoriaosuus sähköverkon mitoittamiseen toimivat hyvänä teoriapohjana opinnäytetyölle. Perehdytysoppaan kokoaminen tapahtui työkohteen rinnalla, joten siitä tuli johdonmukainen sekä selkeälukuinen. Opinnäytetyön toiminnalliseen osuuteen perehtyminen alkoi jo hyvin varhaisessa vaiheessa Trimble Nis -suunnitteluohjelman kautta. Opinnoissani en ollut aikaisemmin käyttänyt kyseistä suunnitteluohjelmaa. Heti alkuvaiheessa opinnäytetyötä toimeksiantajan edustaja perehdytti minut ohjelman käyttöön ja neuvoi opiskelemaan ohjelman käyttöohjeita verkon suunnittelun ja opinnäytetyön rinnalla.

Tein opinnäytetyön toiminnallisen osuuden lähes kokonaan etätöinä työkohteeseen, jolloin ajatus perehdytysoppaan tekemisestä heräsi. Perehdytysoppaan teon aloituksesta tuki toimeksiantajan edustajan erittäin selkeät ohjeet. Nämä asiat auttoivat minua opinnäytetyöni toiminnallisessa osuudessa erittäin paljon. Perehdytysopas sisältää koko projektin kulun aloituskokouksesta luovutukseen. Oppaaseen on kerät-

ty koko työkohteen aikana tulleet huomiot sekä haasteet, joita tuli ilmi työn edetessä. Selkeiden ohjeiden avulla perehdytysoppaasta tuli laadukas ja helposti hyödynnettävä työväline.

Perehdytysopasta voidaan tarvittaessa kehittää lisää muiden työkohteiden rinnalla ja kirjata muista työkohteista tulleita huomioita oppaaseen. Perehdytysoppaassa ei käydä läpi mahdollisia yhteisrakentamiskohteita, joita voivat olla esimerkiksi valokuituverkon tai katuvalaistuksen rakentaminen maakaapeliverkon rakentamisen yhteydessä. Nämä kohteet vaativat lisähuomioita suunnittelun ohella. Perehdytysoppaan ohjeistusta voidaan silti peilata edellä mainittuihin yhteisrakentamiskohteisiin, vaikka siinä ei suoranaista ohjeistusta siihen ole.

Tavoite, joka asetettiin opinnäytetyölle, saavutettiin. Opinnäytetyön tuloksena saatiin toimiva perehdytyspaketti, jonka teoria-, sekä toiminnallinen osuus täydentävät toisiaan. Toimeksiantaja voi hyödyntää opinnäytetyötä työvälineenä uusien suunnittelijoiden perehdytyksessä. Opinnäytetyön avulla uusi suunnittelija saa hyvän peruskuvan, niin teoria puolesta, kuin projektin etenemisestä. Opas on kasattu hyvin selkeästi, työmaan etenemisen mukaan ja näin ollen se on helposti tulkittavissa.

## Lähteet

- Elektron E Oy – sähkön jakeluverkot ja teollisuuden voimanjakelu. N.d. Elektron E Oy. Viitattu 8.9.2017 <http://www.elektron.fi/>
- Elenian puistomuuntamot. 2017. Elenia Oy. PDF –dokumentti. Viitattu 27.8.2017.
- Elovaara J. & Haarla L. 2011 Sähköverkot 1. Helsinki: Otatieto
- Elovaara J. & Haarla L. 2011 Sähköverkot 2. Helsinki: Otatieto
- IEC steel compact substation Luna 2c. N.d. Puistomuuntamon tekniset tiedot. ABB Oy. Viitattu 27.8.2017. <http://new.abb.com/medium-voltage/modular-systems/compact-secondary-substations/steel-css/iec-steel-compact-substation-luna-2c>
- Jakeluverkon maadoitusten rakenne. 2016. Elenia Oy. PDF –dokumentti. Viitattu 13.8.2017.
- Kaapelijakokaappi Onninen - OKKJK-P 250A BC+2X160 40x80 – Emiter. N.d. Sähkönumerot.fi. Viitattu 26.8.2017. <http://www.sahkonumerot.fi/5441008/>
- Kaapeliojat. 2014. Headpower. PDF –dokumentti. Viitattu 12.8.2017
- Käytettävät puistomuuntamot. 2017. Elenia Oy. PDF –dokumentti. Viitattu 12.8.2017.
- Lakervi E. & Partanen J. 2008 Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto
- Leinonen, A. 2017. Työnjohtaja, Elektron E Oy. Haastattelu 25.8.2017
- Liikenneviraston määräys johtojen ja rakenteiden sijoittamisesta maantien tiealueelle. 2016. Liikennevirasto. Viitattu 26.8.2016  
[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lm\\_2016\\_tiealueen\\_johdot\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lm_2016_tiealueen_johdot_web.pdf)
- Maadoitusjärjestelmien suunnittelu. 2016. Elenia Oy. PDF –dokumentti. Viitattu 13.8.2017
- Mercury 10C Cover Sheet. 2015. ABB Oy. PDF –dokumentti. Viitattu 12.8.2017.
- Puttonen P. N.d. Sähkösuunnittelu. Kurssimateriaali. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu. Viitattu 13.8.2017. Optima –oppimisympäristö.



- SFS 6000:2012. Pienjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 13.8.2012. Viitattu 12.8.2017. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.
- SFS 6000:2012. Pienjännitesähköasennukset. Aihealue: Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 13.8.2012. Viitattu 26.8.2017. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.
- SFS 6000:2012. Pienjännitesähköasennukset. Aihealue: Kaapeliojan periaatteellinen poikkileikkaus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 13.8.2012. Viitattu 26.8.2017. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.
- SFS 6001:2015. Suurjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 10.8.2015. Viitattu 13.8.2017. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.
- SFS 6001:2015. Suurjännitesähköasennukset. Aihealue: Laajaan maadoitusjärjestelmään kuulumattoman maadoitusjärjestelmän suunnittelu vertaamalla maadoitusjännitettä  $U_E$  tai kosketusjännitettä  $U_T$  sallittuun kosketusjännitteeseen  $U_{Tp}$ . Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 10.8.2015. Viitattu 10.9.2017. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.
- SFS-EN 50160:2010. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 22.11.2010. Viitattu 13.8.2017. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.
- Sähkönjakeluverkon haltijat. 2017. Energiaviraston Alan toimijat –sivu. Viitattu 11.9.2017 <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkon-haltijat>
- Sähkölaitteiston tarkastukset. 2005. Virtuaali Ammattikorkeakoulu. Viitattu 26.8.2017. <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030503/1134129294081/1134132211537/1134133739307/1134133840901.html>
- Sähkön toimitusvarmuus on parantunut. 2017. Artikkelit Yle Uutiset –sivustolta 24.2.2017 Viitattu 12.8.2017 <https://yle.fi/uutiset/3-9478507>
- Sähköverkko. N.d. Elenia Oy:n Sähköverkko -sivu. Viitattu 2.7.2017. <http://www.elenia.fi/sahko>

Sähköverkkoyhtiöt. N.d. Energiateollisuus. Viitattu 2.7.2017.

[https://energia.fi/perustietoa\\_energia-  
alasta/energiaverkot/sahkoverkot/sahkoverkkoyhtiöt](https://energia.fi/perustietoa_energia-<br/>alasta/energiaverkot/sahkoverkot/sahkoverkkoyhtiöt)

Säävarman tarina. N.d. Elenia Säävarma kartalla –sivu. Viitattu 26.8.2017.

[http://www.elenia.fi/sahko/saavarma\\_tarina](http://www.elenia.fi/sahko/saavarma_tarina)

Toimialue kartta. N.d. Elenian yhteinen toimialuekartta. Viitattu 8.7.2017.

<http://www.elenia.fi/yritys/toimialuekartta>

Verkon suunnittelu ja rakentaminen. N.d. Trimble Nis. Viitattu 26.8.2017.

<http://utilities.trimble.fi/trimble-nis-sahkoverkoille.html>

Vesilain mukaiset luvat eli vesiluvat. 2017. Aluehallintaviraston ajankohtaista –sivu  
18.5.2017. Viitattu 26.8.2017. <https://www.avi.fi/web/avi/vesiluvat#.WaJ2g8ZLdhE>

Voimansiirtoverkko. 2017. Fingrid Oyj voimansiirtoverkon esittely. Viitattu 8.7.2017.

<http://www.fingrid.fi/fi/yhtio/esittely/voimansiirtoverkko/Sivut/default.aspx>

## **Liitteet**

### **Liite 1. Perehdytysopas**

Tämä liite on salassa pidettävä ja se liitetään toimeksiantajan versioon. Sivumäärä 40.

## **Liite 2. Työkohteen keskijännitekartat**

Tämä liite on salassa pidettävä ja se liitetään toimeksiantajan versioon. Sivumäärä 3.